

Дилатантные структуры и электромагнитные возмущения УНЧ диапазона на этапах подготовки и развития крупного сейсмического события

Л. Е. Собисевич, А. Л. Собисевич
Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН. Москва

Получено 31 марта 2010; опубликовано 5 июня 2010.

Рассмотрены вопросы формирования дилатантных структур вблизи поверхности земли на этапе подготовки крупного сейсмического события. Выполнен анализ экспериментальных наблюдений вариаций магнитного поля Земли, зарегистрированных аппаратурными комплексами Северокавказской геофизической обсерватории. Показано, что в структуре регистрируемых электромагнитных сигналов удается выделить характерные ультранизкочастотные волновые формы, предшествующие сильным телесеismicким событиям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: резонансные явления; геофизическая среда; дилатантные структуры; геомагнитные наблюдения; сильные землетрясения

Ссылка: Собисевич Л. Е., А. Л. Собисевич (2010), Дилатантные структуры и электромагнитные возмущения УНЧ диапазона на этапах подготовки и развития крупного сейсмического события, Вестник ОНЗ РАН, 2, NZ6027, doi:10.2205/2010NZ000045, 2010

1. Предисловие

Выдающийся ученый и педагог Юрий Семенович Геншафт в своем последнем докладе «Земля – открытая система. Геофизические и геологические следствия», прочитанном на ученом совете ИФЗ РАН, ярко осветил все современные проблемы геофизики, которые подлежат корректировке и более углубленному изучению. Особое внимание Юрий Семенович уделил анализу явлений, связанных с волновой природой геофизических процессов, обратив наше внимание на то, что «все процессы характеризуются мультичастотной нерегулярной периодичностью, а возмущения имеют волновую природу». Характеризуя современное положение в науках о Земле и в деле прогнозирования крупных сейсмических событий, Юрий Семенович подчеркивал неоднократно роль резонансных процессов, имеющих место в неоднородной Земле на всех этапах развития сейсмических событий и являющихся источниками аномальных возмущений геофизических полей.

В настоящей статье, следуя основным положениям, которые развивал Юрий Семенович Геншафт, мы старались уточнить роль дилатантных образований, как резонансных структур, в развитии сейсмических процессов и подтвердить основные модельные представления данными натурных экспериментов.

Перед крупными землетрясениями в зоне формирования будущего очага и на удалении удается наблюдать «аномальные» геофизические возмущения разной природы (гравитационные, сейсмические, электромагнитные и др.), которые трактуются как предвестники готовящегося сейсмического события. В ряде случаев многие из наблюдающихся аномальных геофизических явлений фиксируются аппаратурными комплексами на значительных удалениях от формирующейся эпицентральной зоны. Установлено, что эти аномалии ведут себя во времени и пространстве весьма сложным образом [Мячкин и др., 1974; Соболев, 1978; Mei Shirong, 1992 и др.], формируя в сложные полевые структуры [Алексеев и др., 2008].

Начиная со второй половины прошлого столетия, российские геофизики ведут активное изучение наблюдаемых аномальных возмущений, трактуемых как предвестники землетрясений. Результаты этих работ достаточно подробно отражены в обобщающей публикации А.Я. Сидорина [Сидорин, 1992] и в ряде других работ [Alekseev, 1993; Ma Li, Chen Jianmin et al., 1995; Алексеев и др., 2008].

В настоящее время сложилась весьма парадоксальная ситуация. Получается, что наличие большого числа зафиксированных предвестников землетрясений, к которым сейсмологи всегда

обращаются, чтобы не пропустить подготовку сильного землетрясения, весьма затрудняет прогноз готовящегося сейсмического события из-за увеличения «количества степеней свободы выбора». Свобода выбора ограничивается при этом еще и географическим положением сейсмоопасного региона, для которого предполагается выполнить прогнозные оценки. В разных с геологической точки зрения сейсмоопасных регионах планеты предвестники крупных сейсмических событий проявляют себя по-разному.

Сегодня геофизики все больше склоняются к тому, что за всеми взаимоотношениями отдельных предвестников между собой и со свойствами очага может стоять некоторая универсальная геофизическая величина. Нахождение такой величины расширило бы возможности использования отдельных характерных предвестников в задачах прогноза и избавило бы сейсмолога от «проклятия многомерности».

Такой геофизической величиной, по-видимому, можно считать наиболее универсальный процесс, наблюдаемый в очаговой зоне при подготовке сейсмического события – эволюцию поля микротрещин в геологической среде под действием локальных напряжений и других геолого-геофизических процессов, связанных с флюидной активностью в регионе. [Николаевский, 1982; Сидорин, 1992 и др.].

В качестве количественной характеристики базового процесса, порождающего аномалии-предвестники на этапе подготовки крупного сейсмического события, академик Алексеев А.С. и его ученики предложили в конце прошлого столетия использовать пространственно - временную функцию плотности числа трещин в области готовящегося очага. В эту область они включили и зоны проявления аномальных геофизических полей на поверхности Земли, связанные с появлением, в том числе, и «пограничного слоя дилатансии» [Alekseev, 1993].

Такое предложение в своей основе опирается:

- на результаты кинетической теории разрушения, развитой С.Н. Журковым со своими сотрудниками [Журков, 1968; Журков и др., 1973];
- на экспериментальных и теоретических исследованиях процессов подготовки землетрясений, выполненных российскими учеными В.И. Мячкиным, Б.В. Костровым, Г.А. Соболевым, О.Г. Шаминой [Мячкин и др., 1974; 1975];
- на результатах численного анализа «очаговых» и «поверхностных» зон дилатансии [Собисевич, 2003; Алексеев и др., 2008];

Отметим, что явление образования поверхностного или «пограничного слоя дилатансии» в готовящейся эпицентральной зоне (разуплотнения протяженных зон верхней части земной коры под действием касательных и нормальных тектонических напряжений вблизи свободной от напряжений дневной поверхности) было открыто академиком А.С. Алексеевым и его учениками в результате вычислительных экспериментов.

Ниже приведены некоторые факты, относящиеся к физико-механическим свойствам зон повышенной трещиноватости в геологической среде и предполагаемой структуре квазистатических электрических и магнитных полей в зоне подготовки сейсмического события. Кратко излагается структура дилатантных зон «очагового» и «пограничного» типов и приводятся результаты наблюдений магнитных возмущений в УНЧ диапазоне перед сильными ($M=5$ и более) сейсмическими событиями, которые наблюдались нами в различных регионах планеты.

2. Условия формирования аномальных возмущений разной физической природы на этапе подготовки и развития крупного сейсмического события

Основное число землетрясений реализуются через разрушение горных пород, начиная с разрушения пород в очаговой зоне. Поэтому в задаче прогноза первостепенное значение отводится изучению процессов, связанных с перестройкой структуры геологической среды.

Изучение процессов разрушения образцов различных материалов в лабораторных условиях, а также анализ разрушения крупномасштабных природных образований при землетрясениях выявлены некоторые общие закономерности. Здесь, прежде всего, следует выделить поэтапный характер развития процесса во времени.

В работах С.Н. Журкова и его коллег из Физико-Технического Института РАН в Санкт-Петербурге установлен ряд кинетических законов, характеризующих процесс разрушения твердых тел [Журков, 1968; Журков и др., 1973]. Полученные результаты близки к современным представлениям ученых Института физики Земли РАН о схеме разрушения крупномасштабных геологических структур на этапе подготовки землетрясения. Так в работе Г.А. Соболева

сформулированы три закономерности, имеющие ключевое значение в решении отдельного класса задач, связанных с проблемой изучения предвестников и прогнозом землетрясений [Соболев, 1978]:

1. Представление о развитии системы трещин в области подготовки очага землетрясений в результате роста объемной плотности числа микротрещин, через стадии укрупнения размеров трещин и уменьшения их числа до образования магистральных разрывов.

2. Закономерность ступенчатого перехода размеров трещин от мелких к более крупным, при достижении мелкими трещинами некоторого критического числа, соответственно концентрационному критерию С.Н. Журкова [Журков, 1968]

$$K^* = \frac{N^{-\frac{1}{3}}}{L}, \quad (1)$$

где N - число трещин размера L , K^* - критическое среднее расстояние между трещинами в единицах средней длины трещин, а $N^{-\frac{1}{3}}$ - объемная концентрация трещин.

При уменьшении среднего расстояния ниже критического происходит резкая перестройка всей системы трещин с увеличением средних размеров трещин в некоторой геометрической пропорции и уменьшением средней объемной их концентрации. При этом трещины приобретают тенденцию локализоваться в области будущего макроразрыва. Эти закономерности универсальны для любого масштабного уровня и для любого режима нагружения.

3. Перестройка системы трещин проявляется в изменении некоторых характеристик среды в созревающем очаге, а также в образовании аномалий ряда геофизических полей. В частности, концентрация процесса трещинообразования может выражаться в пространственно - временном изменении режима сейсмичности для слабых землетрясений, в изменении механизма очагов предшествующих микроземлетрясений, в появлении анизотропии свойств пород в будущем очаге. Последнее наиболее четко проявляется в образовании аномалий величин скоростей отношений распространения продольных и поперечных сейсмических волн перед крупными землетрясениями [Нерсесов и др., 1971].

Некоторые геофизические поля могут испытывать влияние процессов раскрытия микротрещин. В частности, естественно ожидать увеличение газовой и флюидной проницаемости областей земной коры, в которых происходит этот процесс. Поэтому удастся наблюдать изменения уровней грунтовых вод, увеличение интенсивности газовых потоков, изменения электрического сопротивления и ряд других возмущений на этапе подготовки сейсмического события. Разуплотнение пород за счет увеличения суммарного объема трещин в свою очередь обуславливает появление локальных аномалий гравитационного и электрического полей там, где поле локальных тектонических напряжений вызывает активизацию процесса трещинообразования.

Анализ поля напряжений в районах подготовки землетрясений [Liangtian, 1993; Chunhua et al., 1996] и результаты численного моделирования условий возникновения зон «дилатансии», приведенные ниже, позволяют допускать возможность образования трещин некоторого масштабного уровня на расстояниях 200 - 300 км от очага будущего землетрясения.

Таким образом, выбор функции плотности трещин в качестве меры подготовки разрушения имеет право на существование, благодаря участию этой физической меры в формулировке всех трех основных закономерностей.

3. О «пограничном слое» дилатансии

В результате взаимодействия разломно-блоковых структур и других геофизических образований в литосфере возникают сейсмоактивные зоны- области высокой концентрации тектонических напряжений, которые не остаются постоянными. На определенном этапе развития сейсмического процесса происходит разрушение некоторого объема геологической среды, вызывающее землетрясение.

Процесс подготовки землетрясений является энергонасыщенным процессом, который растянут во времени иногда на многие годы. В этот период происходят крупные реологические изменения в некотором объеме геологической среды, формируются аномальные объемные зоны дилатансного типа, ответственные за генерацию геофизических полей разной природы; наблюдается раскрытие трещин в зонах повышенных значений сдвиговых и растягивающих напряжений, активизируется флюидная активность.

Начальную стадию раскрытия трещин и последующее состояние среды, при котором развиваются процессы разрушения геологической среды, мы в дальнейшем будем связывать с развитием процесса дилатансии, описанным в ряде работ [Brace et al., 1966; Николаевский, 1982].

Согласно существующим представлениям дилатансия - это нелинейное разуплотнение упругой геологической среды за счет образования трещин сдвига вследствие превышения наибольших касательных напряжений некоторого порога. К области дилатансии относят множество точек упругой среды, для которых при заданном поле напряжений $\{\sigma_{ij}\}$ в среде выполнено условие:

$$D_{\tau} \equiv \tau - \alpha(P + \rho gz) - Y \geq 0, \quad (2)$$

где ρ - плотность породы, g - ускорение свободного падения, z - глубина точки, P - гидродинамическое давление

$$P = -\frac{1}{3}(\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}), \quad (3)$$

α - коэффициент внутреннего трения, Y - сцепление породы, τ - интенсивность касательных напряжений:

$$\tau = \frac{\sqrt{3}}{2} [(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{13}^2 + \sigma_{23}^2)]^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

Условие (2) совпадает с критерием Шлейхера-Надаи разрушения материала под действием скальвающих нагрузок. Он удовлетворительно описывает начало процесса разрушения горной породы. Критерий применим и в стадии «предразрушения» (при нагрузке до 60 – 90 % от критической) для качественного описания областей активизации раскрытия трещин.

На примере простейшей статической модели земной коры - первоначально однородного, изотропно-упругого полупространства академику Алексею А.С. и его ученикам удалось показать сложный характер зон дилатансии. Эта сложность проявляется даже в случаях, когда источником тектонических напряжений является единичная сосредоточенная сила. Что касается реального очага, то здесь мы имеем наложение силовых полей, полное описание которых весьма затруднительно.

Для составления представления об упрощенной структуре зоны дилатансии при моделировании поля напряжений в упругом полупространстве были использованы точные решения для упругих смещений и напряжений от точечного источника полученные в работе [Mindlin and Cheng, 1950]. Решения удовлетворяли условиям отсутствия напряжений на границе «земля-воздух» $z = 0$,

Результаты моделирования представлены на рис. 1. Здесь изображена граница области $D_{\tau} = 0$ для источника - одна простая сила на глубине 15 км. Упругое полупространство было задано следующими параметрами:

$$v_p = 6000 \text{ м/с}, \quad v_s = v_p / \sqrt{3}, \quad \lambda = \mu = \rho v_s^2 = 3,48 \cdot 10^{10} \text{ Па}, \quad \rho = 2900 \text{ кг/м}^3, \quad g = 9,9 \text{ м/с}^2, \\ Y = 3 \cdot 10^6 \text{ Па}, \quad \alpha = 0,5, \quad F = 10^{16} \text{ Н}.$$

В рассматриваемом случае оказалось, что внутри области $D_{\tau} \geq 0$ касательные напряжения доминируют над сжимающими напряжениями. Сопротивление среды скалывающим усилиям за счет сцепления здесь преодолено и сложились условия, благоприятные для роста числа трещин. Сами механизмы раскрытия трещин и реологические изменения среды в зоне $D_{\tau} \geq 0$ используемыми решениями не описываются. Решения относятся лишь к определению границы перехода упругого состояния в состояние нелинейного разуплотнения с образованием дилатансных структур в окрестности приложения силы.

Интересным экспериментальным фактом оказывается образование двух зон дилатансии: «очаговой» зоны, которая образовалась в окрестности точки приложения силы и «пограничной» – в слое на границе со свободной поверхностью. Здесь поле напряжений от источника содержит сильный вклад касательных напряжений на фоне слабого влияния сжимающих напряжений и гидростатического давления в связи с близостью поверхности, свободной от внешних напряжений.

В зависимости от ряда параметров (h - глубины источника, F - интенсивности источника, угла θ - ориентации силы в источнике, величины Y - сцепления элементов среды), «пограничная» зона дилатансии ведет себя довольно изменчиво. Она может исчезать при увеличении глубины источника или соединяться с «очаговой» зоной при увеличении интенсивности источника (см. рис. 1). В некоторых случаях «пограничная» зона имеет горизонтальную протяженность 200 и более километров, а также весьма сложную форму в проекции на поверхность Земли. Нет необходимости доказывать, что при действии нескольких, разнесенных в пространстве силовых источников переменной интенсивности картина трансформации дилатансных образований может быть очень сложной.

Поскольку с поверхностными зонами дилатансии естественно связывать и зоны, ответственные за генерацию геофизических полей (например, инфразвукового или электромагнитного поля), то для исследования источников и механизмов образования этих аномалий требуется, возможно, более точно исследовать тонкую внутреннюю структуру и динамические (резонансные) особенности дилатансных зон. Такие исследования требуют развития специализированных феноменологических подходов и методов численного моделирования.

Нужно отметить, что существование «пограничных» слоев (зон) дилатансии в реальных условиях требует экспериментального подтверждения. Прямые эксперименты в полевых условиях здесь затруднительны в связи с отсутствием достоверных данных о местоположении будущей эпицентральной зоны. Однако необходимые данные могут быть получены при анализе накопленного обширного материала по мониторингу аномалий различных геофизических полей с учетом выявления причин пространственно - временной подвижности и механизмов взаимосвязи с геологическими структурами.

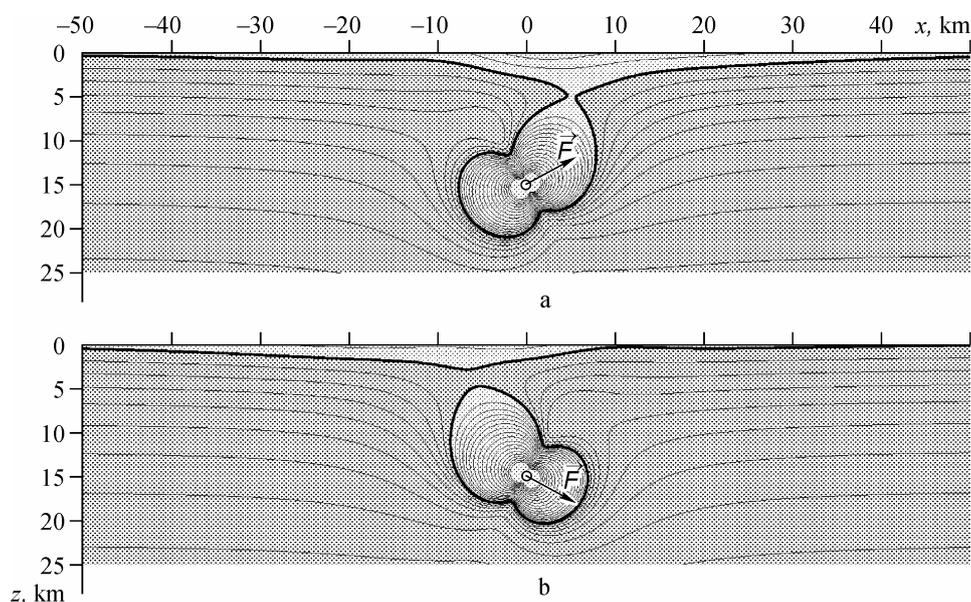


Рис. 1. Формы очаговой и поверхностной зон дилатансии в сечении $y = 0$ [Алексеев и др., 2008].

Энергетической средой, в которой осуществляется взаимосвязь «очаговой» и «пограничных» зон, является единое поле напряжений, созданное силами в источнике готовящегося землетрясения (рис. 2).

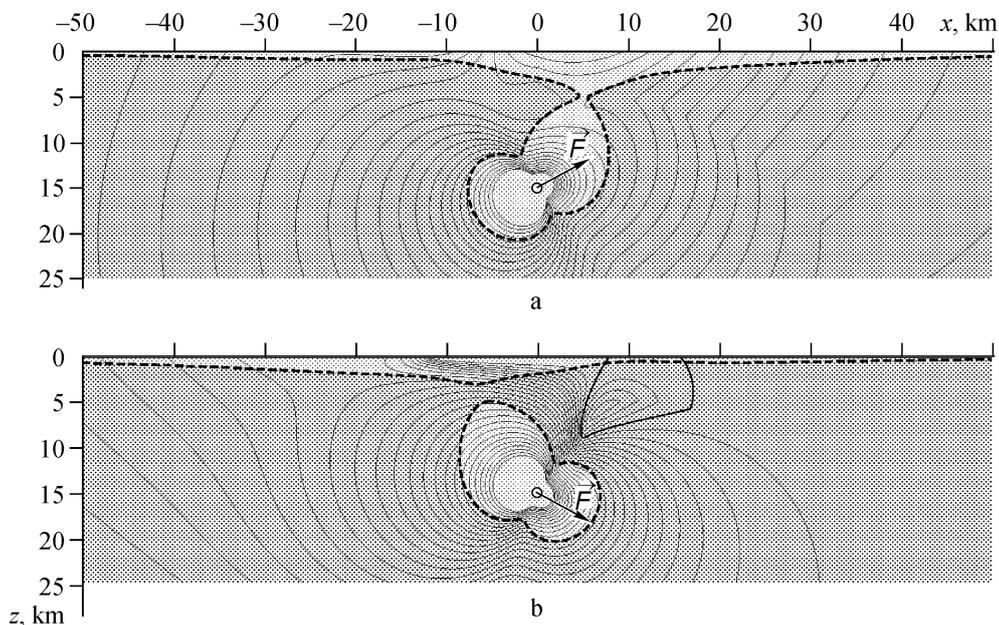


Рис. 2. Очаговая и поверхностная зоны дилатансии в поле главных нормальных напряжений [Алексеев и др., 2008].

Линии наибольших касательных напряжений (или линии наибольших растягивающих напряжений) дают оценку доминирующей ориентации трещин, возникающих в зонах «очагового» и «пограничного» типов.

В тех случаях, когда дилатантные зоны двух типов объединяются в одну, имеется единая область трещиноватости, соединяющая поверхностные зоны аномальных полей с очаговой зоной. Развитие процесса разрушения в этой зоне может напрямую влиять на изменение регистрируемых геофизических аномалий и в первую очередь на аномальные вариации магнитного поля Земли в УНЧ диапазоне [Собисевич и др., 2008].

4. Ультранизкочастотные электромагнитные возмущения, предвещающие сильные сейсмические события

Землетрясение на Аляске 27 марта 1964 года с магнитудой 9.2 было одним из самых сильных зарегистрированных событий в истории инструментальных сейсмологических наблюдений.

В конце 1964 года Джордж Мур впервые сообщил о характерных магнитных сигналах (предвестниках), которые появились за 2 часа до начала землетрясения [Moore, 1964]. Изучение предвестников этого класса было продолжено [Гульельми, 2007; Моргунов и др., 1996].

Аномальные электромагнитные сигналы, предвещающие сильные землетрясения, наблюдались в широком диапазоне частот [Бахмутов и др., 2003; Гульельми, 2007; Моргунов и др., 1996]. Основные усилия ученых были сосредоточены на изучении аномальных широкополосных электромагнитных возмущений [Гохберг и др., 1979]. Из рассмотрения практически выпали квазигармонические составляющие. Этим можно объяснить тот факт, что на протяжении последних пятидесяти лет УНЧ электромагнитные предвестники периодически обсуждаются, однако полного согласия среди геофизиков относительно возможности их надежного выделения и практического использования до сих пор нет.

В последние годы систематические наблюдения флуктуаций магнитного поля ультранизкой частоты проводятся на Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН, оборудованной современными геофизическими приборами, включая наклономерные и магнитовариационные станции [Собисевич и др., 2008]. Анализ накопленной здесь геофизической информации о наведенных волновых процессах, обусловленных удаленными землетрясениями, позволил подтвердить наличие предвестников электромагнитной природы [Гохберг и др., 2008] и выделить

аномальные волновые форм УНЧ электромагнитных возмущений перед сильными телесейсмическими событиями за 2-4 часа до их начала.

Удовлетворительного теоретического объяснения обнаруженному явлению до сих пор нет [Гульельми, 2007]. Причина заключается, по-видимому, в том, что уравнение, описывающее условия возбуждения электромагнитных колебаний содержит целый ряд феноменологических параметров, число которых увеличится при описании физических особенностей геологической среды [Гульельми, 2007; Алексеев и др., 2008]. В свою очередь отсутствие достоверного теоретического объяснения не позволяет в полной мере понять картину геофизических процессов на этапе подготовки землетрясения. Поэтому при изучении обнаруженного явления на первое место выходит натурный эксперимент.

Многолетний опыт наблюдений на созданной нами Северокавказской геофизической обсерватории свидетельствует о том, что выделенный здесь экспериментально отдельный класс квазигармонических УНЧ электромагнитных сигналов поддается регистрации современными аппаратными средствами. В подтверждение сказанного обратимся к экспериментальным данным, которые были получены на Северокавказской геофизической обсерватории в 2007 году. Эти результаты представлены в таблице 1 и на рис. 1-2.

Таблица 1. Удаленные землетрясения, перед которыми наблюдались характерные УНЧ электромагнитные возмущения и абсолютные значения этих возмущений

Район	Время (UT)	Координаты (градусы)	Магнитуда	Глубина (км)	Период вариаций (сек)	Амплитуда вариаций (нТл)
Калифорнийский залив	01.09.2007 19:14:27	25.22° СШ 109.51° ЗД	5.5	33	75	50
Острова Санта-Крус	02.09.2007 01:05:17	11.25° ЮШ 165.84° ВД	5.3	33	60	2.5
Курильские острова	03.09.2007 16:14:53	45.9° СШ 150.14° ВД	6.1	110	90	3.0
Район Тайваня	06.09.2007 17:51:25	24.45° СШ 122.45° ВД	6.0	60	80	5.5
Зап. побережье Колумбии	10.9.2007 01:48:13	3.15° СШ 77.92° ЗД	6.1	33	115	1.0
Южная Суматра, Индонезия	12.09.2007 23:49:01	2.54° ЮШ 100.85° ВД	7.3	33	150	3.5
Таджикистан	06.11.2007 02:15:42	38.30° СШ 72.98° ВД	5.6	80	150	2.0
Эгейское море	09.11.2007 01:43:02	38.81° СШ 25.55° ВД	4.9	10	165	1.0
Район Восточной Новой Гвинеи	22.11.2007 08:48:32	5.74° ЮШ 146.64° ВД	5.7	100	55	1.5
Район Сумбавы Индонезия	25.11.2007 19:53:02	2.07° ЮШ 118.41° ВД	5.6	20	70	1.5
Южнее острова Фиджи	9.12.2007 07:28:24	25.82° ЮШ 177.52° ЗД	7.2	190	40	1.0
Побережье северного Чили	16.12.2007 08:09:18	22.84° ЮШ 70.2° ЗД	6.5	60	100	2.0
Турция	26.12.2007 08:09:18	39.52° СШ 33.04° ВД	5.6	10	150	3.0

Характеризуя приведенные результаты, отметим, что уровни зарегистрированных квазигармонических УНЧ возмущений изменяются в пределах от 1 до 5 нТл, что позволяет

отчетливо различать их на фоне вариаций электромагнитного поля Земли. Это следует и из рассмотрения амплитудно-временных характеристик сигналов, представленных на рис. 1 и рис. 2.

На рис. 1а приведены записи вариаций геомагнитного поля по трем компонентам (H, D, Z) и изменения наклонов (Север-Юг, Восток-Запад) в период развития и протекания сейсмического события в районе южной Суматры 12 сентября 2007 г., глубина очага – 33 км. Примерно за три часа перед землетрясением на записях магнитных вариометров наблюдаются квазигармонические УНЧ электромагнитные вариации с периодом порядка 150 - 250с (рис. 1б). По мере развития сейсмического процесса период не остается постоянным. Он возрастает и достигает величины 450с.

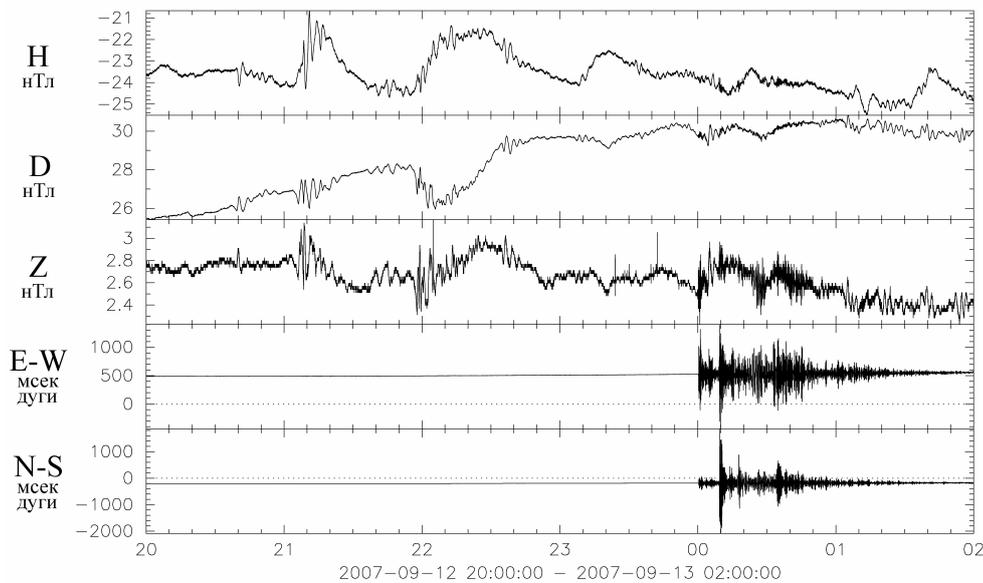


Рис. 1а. Землетрясение в районе Южной Суматры 12.09.2007. УНЧ электромагнитные возмущения, зарегистрированные магнитными вариометрами и наклономерами лаборатории №1 Северокавказской геофизической обсерватории.

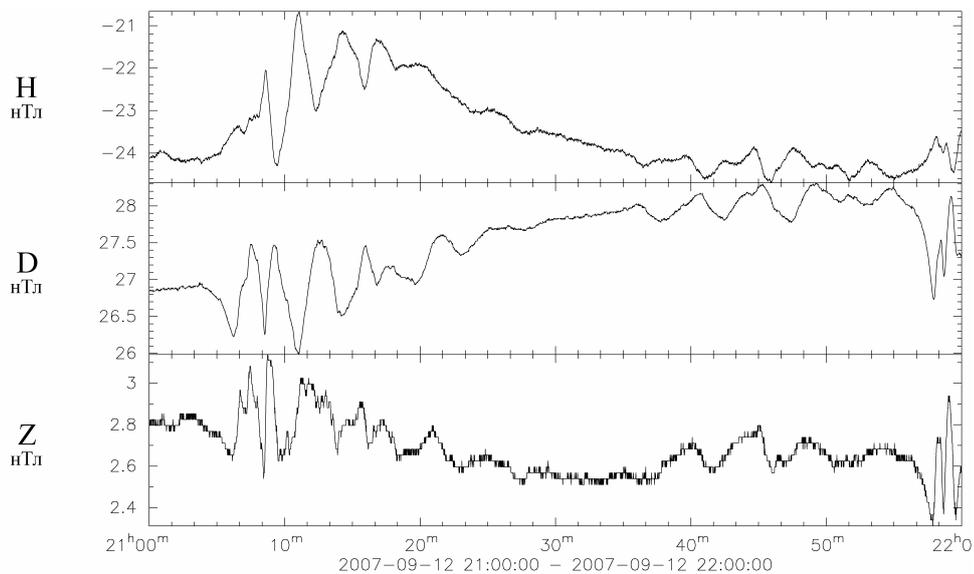


Рис. 1б. Структура УНЧ электромагнитного возмущения, которое возникло и наблюдалось, начиная с 21:30 (т.е. за 3 часа) перед землетрясением в районе южной Суматры 12.09.2007.

На рис. 2а приведены аналогичные записи для другого сейсмического события в районе о. Тайвань 6 сентября 2007 г., глубина очага – 60 км.

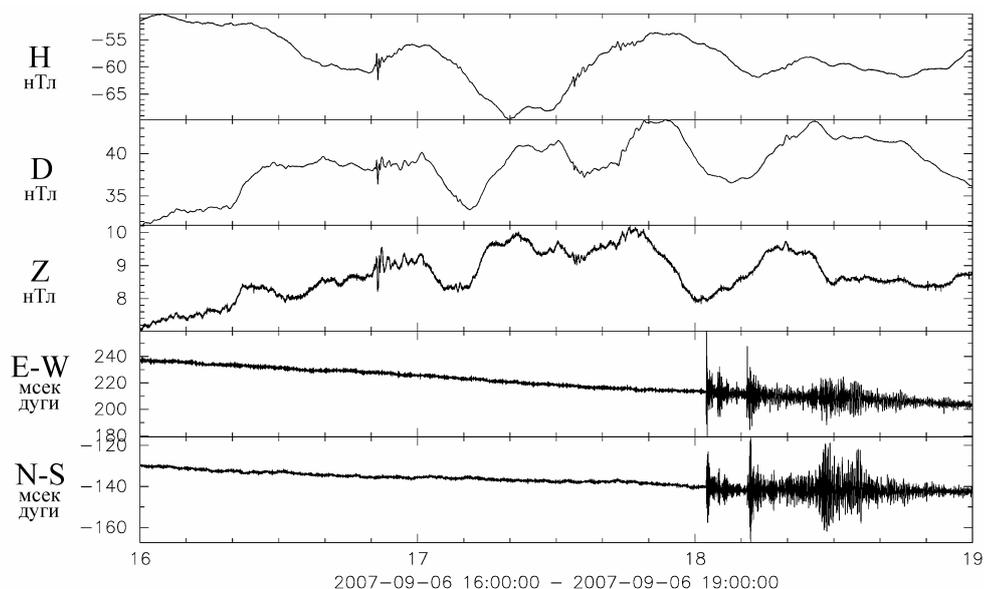


Рис. 2а. Вариации УНЧ электромагнитных возмущений и показания наклономеров перед землетрясением в районе о. Тайвань 6 сентября 2007 г.

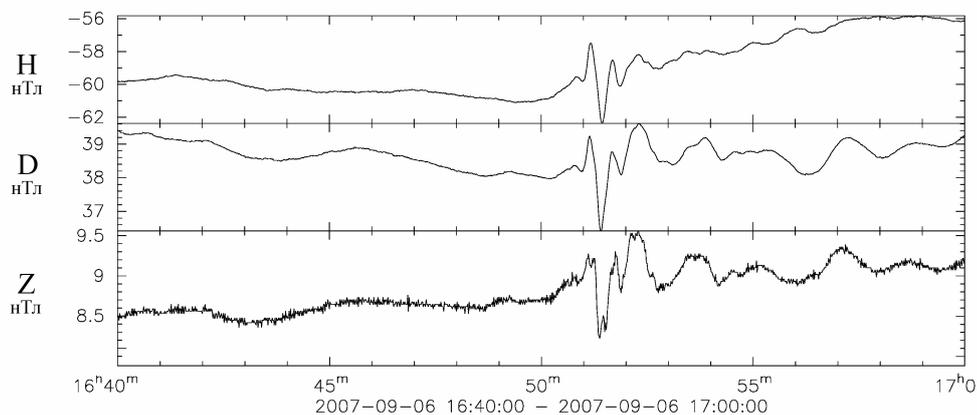


Рис. 2б. Структура УНЧ электромагнитного возмущения, которое возникло и наблюдалось перед землетрясением в районе о. Тайвань 6 сентября 2007 г.

Проанализированные ряды экспериментальных наблюдений на Северокавказской обсерватории за 2007 год, показывают, что из 44 зарегистрированных землетрясений с магнитудой более 5, 32 случаях были зафиксированы характерные квазипериодические УНЧ электромагнитные возмущения. В числе отличительных признаков следует отметить отчетливые фазовые и амплитудно-временные особенности в структуре сигналов по H, D, и Z компонентам. Квазигармонические возмущения магнитного поля с периодом от 100 до 400 с и длительностью порядка 10 – 12 мин., выделяются из общей картины, отражающей вариации магнитного поля Земли. Эти аномальные квазигармонические возмущения фиксируются в основном за 2-4 часа перед сильным сейсмическим событием.

Появление аномальных возмущений перед сильными землетрясениями естественно связать с электродинамическими процессами в зоне подготовки сейсмического события и в первую очередь в пограничном слое дилатансии. Здесь перед сильными землетрясениями происходят различные физико-химические процессы. Отдельные дилатансные образования, объемный заряд которых может достигать предельных величин, разряжаются на внезапно образующихся разрывах в геофизической среде, при этом единым импульсом разряжаются напряжения и деформации и возбуждаются сейсмические и электромагнитные волны. Авторы надеются, что получаемые экспериментальные результаты позволят понять геофизический механизм, который ответственны за появление квазигармонического возмущения.

В настоящее время в лаборатории прикладной геофизики и вулканологии проводится обработка рядов аномальных геофизических явлений, проявляющихся при наблюдениях сильных

землетрясений, зафиксированных аппаратурными комплексами Северокавказской геофизической обсерватории. Полученные результаты вселяют уверенность в том, что при дальнейшем развитии наблюдательной сети и совершенствования аппаратурной базы проблема прогнозирования крупных сейсмических событий с вероятностью не ниже 0,7-0,8 может быть успешно решена.

В подтверждение сказанного приведем еще один характерный пример аномального магнитного возмущения перед землетрясением в районе острова Тонго. Параметры землетрясения по данным Геофизической Службы РАН. Дата и время: 19 Марта 2009г. 18:17:38.8, географические координаты: широта -23.16° , долгота -174.63° , глубина 33 км, магнитуда $m_s 7.4/14$, $m_b 7.2/14$, рассчитаны по станциям.

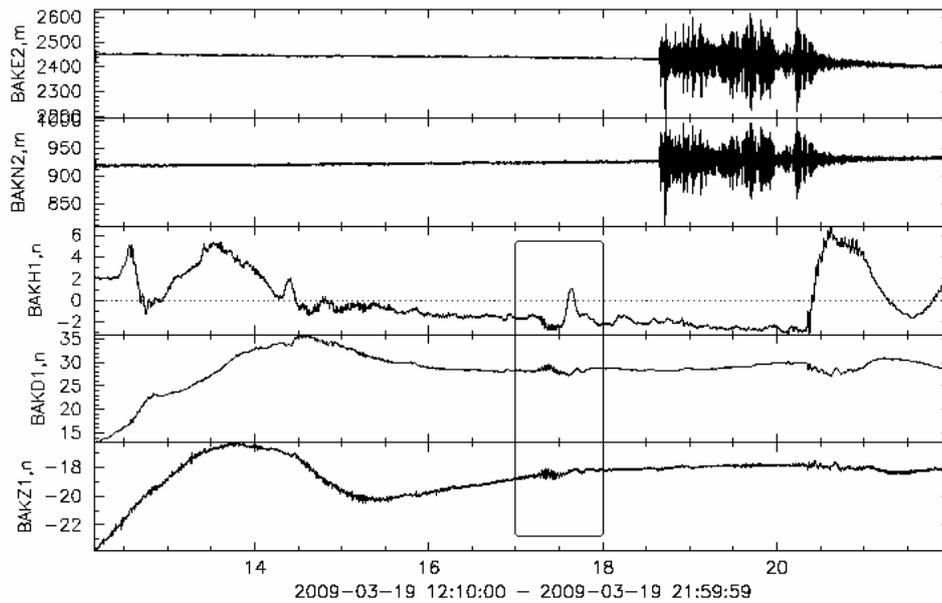


Рис. 3а. Вариации УНЧ электромагнитных возмущений и показания наклономеров перед землетрясением.

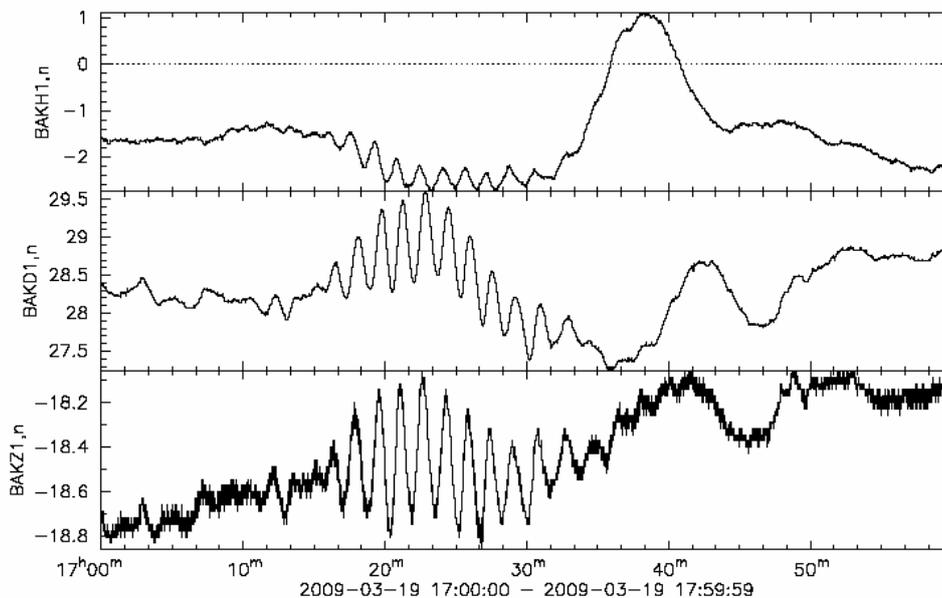


Рис. 3б. Структура УНЧ электромагнитного возмущения, которое возникло и наблюдалось перед землетрясением.

Результаты наблюдений аномального магнитного возмущения перед землетрясением в районе острова Тонго приведены на рис. 3а,б. Здесь: BAKH1 – показания Н компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, нТ; BAKD1 – показания D компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, нТ; BAKZ1 – показания Z компоненты

магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, nT; ВАКЕ2 – показания наклономера E-W на 15 пикете Баксан, ms; ВАКН2 – показания наклономера N-S на 15 пикете Баксан, ms.

На записи по всем каналам отчетливо выражена квазигармоническая структура электромагнитного возмущения. Здесь следует отметить, что по данным наших наблюдений такие формы сигнала присущи в основном землетрясениям, эпицентры которых расположены в море.

Следовательно, работы по затронутой проблеме необходимо продолжать, при этом основные усилия должны быть направлены на создание новых и совершенствование специализированных аппаратных комплексов. В последние годы перспективная информационно-измерительная система создана учеными Санкт-Петербургского филиала Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН. Выполненные исследования УНЧ возмущений позволили ученым института не только получить новые данные, но и обосновать использование градиентов и фазовых скоростей УНЧ геомагнитных возмущений для определения местоположения очага будущего сильного землетрясения [*Исмаилов и др.*, 2000; *Ismaguilov et al.*, 2001, 2002 и др.].

Что касается теоретических построений, то здесь мы должны встать на позицию, которой придерживался Юрий Семенович Генштафт и которую он озвучил в своем докладе - «Классическая термодинамика и механика, а также математическое описание» многих геологических процессов «линейными уравнениями к реальной Земле не имеют прямого отношения».

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 09-05-00066, 09-05-00431, Программы № 16 Президиума РАН (проекты 1.4, 7.5), а также Фонда содействия отечественной науке.

Литература

Алексеев А. С., Б. М. Глинский, Х. Х. Имомназаров, В. В. Ковалевский, Л. Е. Собисевич, С. М. Хайретдинов, Г. М. Цибульчик (2008), Мониторинг геометрии и физических свойств «поверхностной» и «очаговой» дилатансных зон методом вибросейсмического просвечивания сейсмоопасных участков земной коры, *Коллективная монография «Изменения природной среды и климата. Природные катастрофы»*. Под ред. академика Н.П.Лаверова. Т. 1, 179 – 223, ИФЗ РАН, Москва.

Бахмутов В. Г., Ф.И. Седова, Т.А. Мозговая (2003), Морфологические признаки в структуре геомагнитных вариаций в период подготовки сильнейшего землетрясения 25 марта 1998 г. в Антарктиде, *Украинский антарктический журнал*, № 1, 54 – 60.

Гохберг М. Б., В. А. Моргунов, Е. А. Аронов (1979), О высокочастотном излучении при сейсмической активности, *Докл. АН СССР*, 248, № 5. 1077 – 1081.

Гохберг М.Б., С. Л. Шалимов (2008), *Воздействие землетрясений и взрывов на ионосферу*, Наука, Москва.

Гульельми А.В. (2007), Ультранизкочастотные электромагнитные волны в коре и в магнитосфере Земли, *УФН*, Т. 177, №12, 1250 – 1276.

Журков С. Н. (1968), Кинетическая концепция прочности твердых тел, *Вестник АН СССР*, № 3, 46 – 52.

Журков С. Н., В. С. Куксенко, В. А. Петров (1977), К вопросу о прогнозировании разрушения горных пород, *Изв. АН СССР, Физика Земли*, № 8, 11 – 18.

Копытенко Ю. А., В. С. Исмаилов, Е. А. Копытенко, П. М. Воронов, Д. Б. Зайцев (2000), Магнитная локация источников геомагнитных возмущений, *ДАН серия «Геофизика»*, 371, № 5. 685 – 687.

Моргунов В. А., А. Я. Сидорин (1996), Регистрация электромагнитных предвестников землетрясений, *Сейсм. приборы. Вып. 25-26*, 184 – 189.

Мячкин В.И., Б.В. Костров, Г.А. Соболев, О.Г. Шамина (1974), Лабораторные и теоретические исследования процессов подготовки землетрясений, *Известия АН СССР, Физика Земли*, № 10, 107 – 112.

Мячкин В. И., Б. В. Костров, Г. А. Соболев, О. Г. Шамина (1975), Основы физики очага и предвестники землетрясений, в кн. «*Физика очага землетрясений*», 6 – 29, Наука, Москва.

Нерсесов И. Л., А. Н. Семенов, И. Г. Симбирева (1971), Пространственно – временное распределение времен пробега поперечных и продольных волн в Гармском районе, в кн. «*Экспериментальная Сейсмология*», 334 – 345, Наука, Москва.

Николаевский В. Н. (1982), Обзор: земная кора, дилатансия и землетрясения, «*Успехи науки и техники*», 133 – 215, Мир, Москва.

Сидорин А. Я. (1992), *Предвестники землетрясений*, Наука, Москва.

Собисевич А. Л. (2001), *Мониторинг слоистых неоднородных сред*, ОИФЗ РАН, Москва.

Собисевич Л. Е., К. Х. Канониди, А. Л. Собисевич (2008), Изучение ультранизкочастотных электромагнитных возмущений, регистрируемых в районе Эльбрусского вулканического центра, в кн. «*Изменения природной среды и климата. Природные катастрофы*». Под ред. академика Н.П.Лаверова, Т. 6. 157 – 163, ИФА РАН, Москва.

Собисевич Л. Е., А. Л. Собисевич (2001), *Волновые процессы и резонансы в геофизике*, ОИФЗ РАН, Москва.

Соболев Г. А. (1978), Изучение образования и предвестников разрыва сдвигового типа в лабораторных условиях, *Поиск предвестников землетрясений*, 86 – 99, ИФЗ РАН, Москва

Alekseev A. S. (1993), A multidisciplinary mathematical model of combined foreshock for earthquake prediction research, *J. of Earthquake Prediction Research*, Vol. 2, № 2, 137 – 150.

Brace W. F., B. W. Paulding, and C. Scholz (1966), Dilatancy in the fracture of crystalline rocks, *J. of Geophysical Research*, № 16, 3939 – 3952.

Ismaguilov V. S., Yu. A. Kopytenko, K. Hattori, M. Hayakawa (2002), Variations of phase velocity and gradient values of ULF geomagnetic disturbances connected with the Izu strong earthquakes, *Natural Hazards and Earth Sys. Sci.*, 20, 1 – 5.

Ismaguilov V. S., Yu. A. Kopytenko, K. Hattori, P. M. Voronov, O. A. Molchanov, M. Hayakawa (2001), ULF Magnetic Emissions Connected with Under Sea Bottom Earthquakes, *Natural Hazards and Earth Sys. Sci.*, 1, 1 – 9.

Ma Li, Chen Jianmin, Chen Qifu and Liu Guiping (1995), Features of precursor fields before and after the Datong-Yanggao Earthquake swarm, *J. of Earthquake Prediction Research*, 4, 1 – 30.

Mei Shirong (1992), Progress in earthquake prediction in China during the 80ies, *J. of Earthquake Prediction Research*, 1, № 1, 43 – 57.

Miao Liangtian (1993), Monitoring and Prediction of the Datong earthquake, *J. of Earthquake Prediction Research*, № 2, 299 – 310.

Mindlin R. and D. Cheng (1950), The unit force in elastic half-space, *J. of Applied Physics*, 21, № 9, 118 – 133.

Moore G.W. (1964), Magnetic disturbances preceding the 1964 Alaska earthquake, *Nature*, 203, 508 – 509.

Wang Chunhua and Liao Sugiong (1996), Experimental study of the preparation and occurrence of strong earthquakes, *J. of Earthquake Prediction Research*, № 5, 525.

Л. Е. СОБИСЕВИЧ, А. Л. СОБИСЕВИЧ Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН. Адрес: 123995, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10. Тел./факс: +7 (495) 254-9080, e-mail: sobis@ifz.ru